

計算課題遂行時の脳内ヘモグロビン濃度変化の特徴 —減法課題を用いて—

黒 田 恭 史

〔抄 録〕

計算課題遂行時における脳内ヘモグロビン濃度変化について、1チャンネル型光計測装置による測定を実施し、その特徴について検討した。2桁の減法を繰り返し暗算にて回答する課題を用い、大学生を被験者として、右前額最突出部のヘモグロビン濃度を測定した結果、繰り下がりの有無と所要時間の長短によって、脳内ヘモグロビン濃度変化に差異が生じた。とりわけ、繰り下がり有りの減法課題遂行時に所要時間の遅延が大きい被験者の場合、deoxyHb の増加が顕著となる傾向が確認された。上記の結果より、試行時における課題に対する負荷の高低と deoxyHb の増減との関連性が示唆された。

キーワード 脳科学, NIRS, 減法, 繰り下がり, 珠算

1. 研究背景

1.1.現在の脳科学研究

現在、脳科学の教育への応用の気運は、例えば、1999年以降の経済協力開発機構教育研究革新センター (OECD/CERI) での学習科学と脳プロジェクトの着手、文部科学省 (2002) が中心となった「脳科学と教育」研究に関する検討会の発足等、世界的、国家的戦略と呼応しながら高まってきている⁽¹⁾。とりわけ、英国では OECD の全面協力の下、計算過程の脳活動の分析が中心的な研究課題となっており、研究の集積が組織的に行われつつある。例えば、ロンドン大学の Butterworth B. (2003) らは、脳障害による計算障害 (Dyscalculia) の特徴とその教育について、主に fMRI (functional Magnetic Resonance Imaging: 磁気共鳴イメージング) 装置を用いて実証的に検討している。

1.2.医学研究における計算課題の扱い

ところで、これまで医学の研究領域においても、数計算や数唱の課題は、高齢者の認知や脳障害との関係で積極的に活用されてきた。例えば、「7シリーズ (serial sevens subtraction

test)」と呼ばれる課題は、100から7ずつ引く計算の結果を口頭で回答し、引いた答えが負の数となる直前まで続けるというものである。正しく7が引ければ1点、誤った計算では0点、引いた答えが引かれる数より増加した場合は－1点とし、それらの得点を合計する。満点は14点となり、その得点や所要時間によって脳障害の種別や程度を推定するというものである（今村 2000a）。

同様に、数唱に関する課題としては、実験者が数桁の数字をゆっくりと発話し、続けて被験者がその3桁の数字を復唱するというものなどがある。最初は2桁の数字からスタートし、桁数の増加や、3桁の数字をそのまま復唱する場合（順唱：352→352）と逆転させて復唱する場合（逆唱：352→253）といった試行を行い、これらの項目を変数として数値化し、脳障害の種別や程度の推定、あるいは年齢差による差異を検討する（今村 2000b）。

こうした実験の多くが、痴呆を含む脳障害との関係において設定されており、近年では痴呆患者に対する学習療法（Learning Therapy）といった取り組みも始まっている。単純な計算課題を継続的に実施することが、痴呆等に対するリハビリテーションとして効果があるといった興味深い研究成果が明らかになってきている（Okita, et al. 2003, 川島・山崎 2004）。

1.3.教育現場への脳科学の浸透

2002年4月に小・中学校学習指導要領が完全実施（1998年告示）されたのと相まって、学力向上に関する各種答申が、数多く公にされるようになった。そこでは、基礎学力充実のスローガンの下、算数・数学科では、四則演算の徹底が全国各地で実施されている。脳科学の研究成果と百ます計算等の普及が、この動きをさらに加速させており、計算問題の効用や、文章問題との関係について次のような指摘までなされるようになった。

「複雑な計算を解くときと、文章題を解くときに活動する脳の場所は、ほとんど同じですから、文章題が苦手な人には、計算問題をたくさん解いて、脳をきたえてみることをおすすめします。（川島 2001）」

「計算においてもそうです。難しい計算だと、鉛筆がそうさらさらと動くわけではありません。しかし、百ます計算などを使えば、短時間の集中によって脳は最大限活性化しているのです。（陰山 2002）」

しかし、脳内の同一部位の活性化（ヘモグロビン濃度の増加）が、計算問題と文章題といった異種の課題解決に際して効果的に作用するのかといった学習効果の転移に関する問題や、脳内ヘモグロビンの活性化の持続が、学習効果にどのように影響するのかといった問題等、上記の主張には未解明な点も少なくない（伊藤 1993）。

今後は、「〇〇方式」といった教育方法の妥当性を補強するための後ろ盾としての脳科学の活用ではなく、算数・数学教育学研究の立場からの脳機能に関するデータの取得と、実証的な検証が必要となろう。つまり、脳科学の成果をそのまま教育に転用するのではなく、医学と教

育学の双方からの共同研究が重要となってくる (黒田 2003, 黒田他 2004a)。

2. 研究目的

本稿では、減法計算を課題として取り上げ、課題遂行時の行動観察と、近赤外線による1チャンネル型光計測装置 (以下、NIRS と記す) を用いた脳内ヘモグロビン濃度の測定より、以下の2点を明らかにすることを目的とする。

- (1) 減法における繰り下がりの有無によって、試行時の所要時間、及び正答率にどのような差異が生じるのか。その際、珠算経験の有無が影響を及ぼすのか。
- (2) 上記の行動観察による差異と、脳内ヘモグロビン濃度の測定値との間に、どのような関連性があるのか。

これら2点の解明を通して、減法課題における繰り下がりの有無による難易の差が、脳内ヘモグロビン濃度にどのように反映するのかを明らかにするとともに、学習者個々人の学習過程の特徴を明示する一指標としての可能性についても言及する。

尚、現段階では、実験課題の難易の調整、試行時間の適正化、脳内ヘモグロビン濃度測定方法の確立、数学教育学見地からの適切なデータ分析等も検討課題であるため、安定したデータ及び事後の詳細な感想が取得可能な大学生を被験者とした。今後は、小学生を対象とした同様の実験を計画しており、本実験はその基礎実験として位置付けられるものである。

3. 方法

被験者毎に単独で実施する。測定者は、課題の遂行状況の観察者 (問題用紙の差し替え含む) と、時間計測者の2名とする。

3.1. 実験概要

1) 実験日

2004年1月7日, 1月27日, 3月4日, 8月5日

2) 被験者

大学生10名 (平均年齢20.2歳, S.D. 1.2, 全員右利き, 男性1名・女性9名, 珠算経験者5名 (3級以上)・未経験者5名)

3) 測定方法

被験者は椅子に座り、机上右側に置かれたノート型コンピュータを操作し、口頭にて回答を行う。被験者左後方より、ビデオカメラにて課題遂行時のコンピュータの画面 (課題画面変更の状況) と口頭による回答状況を録画する。併せて、ストップウォッチ計測によって、課題間

の休息時間の設定を行う。

4) 測定装置

ノート型コンピュータ、デジタルビデオカメラ、ストップウォッチ、OM-200 [近赤外線による光計測装置（NIRS：Near Infra-red Spectroscopy）島津製作所製]

5) 測定部位

被験者の右前額最突出部（目視により同定）1箇所 に NIRS のプローブを装着する。右前額部を選択した理由は、前頭葉部において思考や学習の影響が最も反映されるとされている点と、試行時に右手でキーボードのエンターキーを繰り返し押す際の影響（左前額部に反映）を回避するためである。

3.2.課 題

課題は、予め設定された数値に対して、コンピュータ画面に数値が示され、その数値との差を口頭で回答するというものである（図1）。例えば、課題の数値として「51」が設定され、コンピュータ画面に「34」が示されると、「17」と回答する。課題は全部で5試行あり、設定された数値は、試行①では「49」、試行②では「51」となり、順に「50」、「59」、「62」とする。コンピュータ画面上には、いずれの試行の場合も「18」、「29」、「34」、「23」、「48」、「39」、「17」、「15」、「33」、「47」、「28」、「16」、「24」、「19」、「25」の順で15種類の数値が示されるものとする（図2）。従って、「51」、「50」、「62」の場合は全て繰り下がり有りの計算となり、「49」、「59」の場合は全て繰り下がり無し計算となる。尚、被験者には、同一の数値が、同一の順序で画面上に示されることは伝えない。



図1 課題遂行場面（17（＝51-34）と回答）

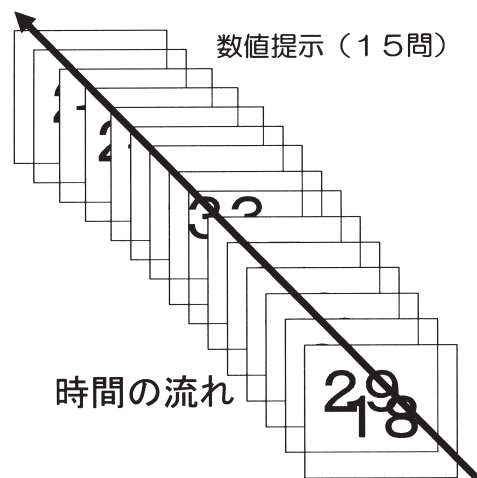


図2 1試行における画面変化の順序

3.3.試 行

- ①実験の説明, プレテスト実施。
- ②閉眼・安静状態の後, 「10秒前」の合図とともに開眼し, エンターキーを押し課題の数値 (「49」等) を把握する。「はじめ」の合図とともにエンターキーを押し回答を開始する。各回答を口頭する毎に, 被験者がエンターキーを押し, 次の課題に取り組む。15種類の数値について回答終了後, 被験者は, 閉眼・安静状態で30秒間休憩する。同様の操作を, 試行⑤まで実施する。
- ③課題終了。
- ④感想記述 (アンケート実施)。

3.4.ヘモグロビン濃度分析方法

NIRS によって測定されるデータは, 光の脳内通過による減衰 (吸光度) の3波長毎の割合である。この吸光度の割合は相対変化であるために, 試行の開始時段階等においてそれぞれ基準値の設定 (ベースライン補正) が必要となる。ベースライン補正には, いくつかの方法があり, 課題の特性に応じて設定される。今回の実験では, 被験者に対する課題の負荷がそれほど高くない (図3) ことから, 各試行スタート時点を0とするベースライン補正 (図4) を採用する。尚, 図5は, 図3のグラフから図4によって形成された階段関数分を差し引いたもので

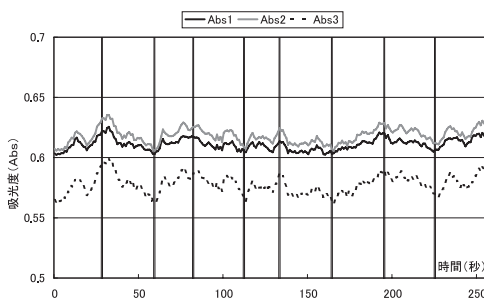


図3 吸光度データ

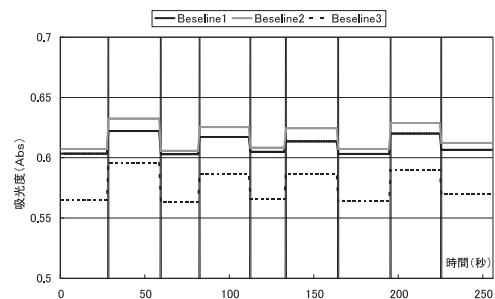


図4 ベースライン補正

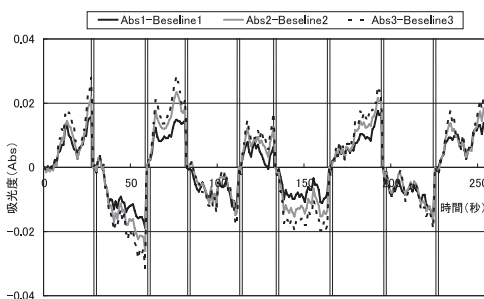


図5 ベースライン補正差分グラフ

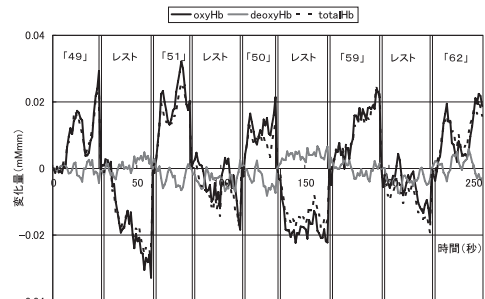


図6 ヘモグロビン濃度変化

あり、この光の吸光度より脳内ヘモグロビン濃度の変化（図6）を、modified Lambert-Beer 則による計算式によって算出する（江田 2001）。

こうして算出されるヘモグロビン濃度は、酸素化ヘモグロビン（oxyHb）、脱酸素化ヘモグロビン（deoxyHb）、両者の総和である総ヘモグロビン（totalHb）の3種類である。一般に、酸素を多く有した oxyHb は脳内に新しい血液が流入した際に増加し、一方、酸素を放出した deoxyHb は課題遂行等によって酸素が消費された場合に増加する。また、oxyHb と deoxyHb の増減によって、両者の総和である totalHb が増減する。

成人を対象にした実験において最も多く認められる変化は、oxyHb と totalHb が増加し、deoxyHb が減少するというものである（Sakatani K, et al. 1999）。これは、課題遂行によって、脳内に新たな血液（oxyHb, totalHb）を必要とする事態が生じた結果であると考えられる。但し、負荷の高い課題においては deoxyHb の増加が継続する場合もある（黒田 2004, 黒田他 2004b）。こうした現象は、測定部位において、課題解決時に多くの血液から酸素消費が行われ deoxyHb が増加したと考えられる。従って、解決方略獲得時以降は、deoxyHb の沈静化が行われる。こうした先行研究より、一般に負荷の高い課題を用いた実験においては、deoxyHb の動きの中で、増減幅の大きさと、沈静化の有無といった点に着目することが重要であるといえる。

4. 結 果

4.1. 行動観察結果

1) 正答数（正答率）

被験者10名の5試行の平均正答数は、14.4点（15点満点）、標準偏差は0.9であった。正答率に換算すると、96.3%であった。一方、最も低い被験者の平均正答数は13.4問（正答率89.3%、以下括弧内は正答率）であり、とりわけ試行②「51」の場合、正答数は9問（60.0%）であった。尚、各被験者とも90%近く以上の正答率を有していることより、課題の意図は正確に理解し、

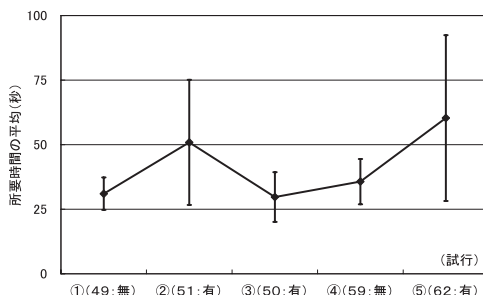


図7 試行毎の所要時間の平均

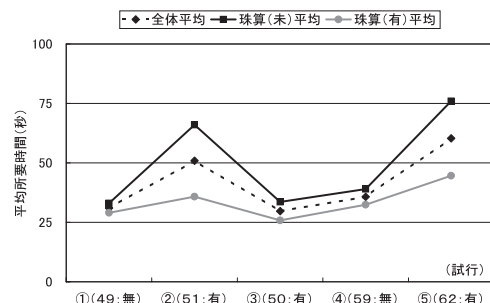


図8 珠算経験の有無毎の平均

回答したと判断される。

各試行(試行①～試行⑤)における正答率においては、最高値が試行③「50」の14.9問(99.3%)、最低値が試行②「51」の13.8問(92.0%)であった。いずれも繰り下がり有りの試行であるが、試行③の場合は繰り下がり有りが全て10の補数で考えることが出来るため、回答が容易であったと予想される。

2) 所要時間平均

図7は、10名の試行毎の平均所要時間と標準偏差をグラフ化したものである。繰り下がり有りの試行②「51」と試行⑤「62」の所要時間が長く、併せて標準偏差が大きくなっている。そこで、珠算未経験者(5名)と珠算経験者(5名)に分類して平均を取ると、珠算未経験者において、繰り下がり有りの試行②「51」と、試行⑤「62」に所要時間の大幅な増加が確認され、珠算経験者の方は増加幅が小さいことがわかる(図8)。

さらに、個人毎に詳細に検討してみる。図9は、横軸には5試行の所要時間の平均を、縦軸には繰り下がり有りの試行②「51」と試行⑤「62」の所要時間の平均を設定し、各被験者の分布を示したものである。従って、5試行の所要時間の平均が大きい場合にはグラフの右側に分布し、繰り下がり有りの試行②「51」、試行⑤「62」の所要時間の平均が大きい場合にはグラフの上側に分布する。図9は10名の被験者の分布のグラフであり、◆が各被験者を示している。また、図10は図9の被験者を、珠算未経験者(●)と珠算経験者(■)に分類して表示したものである。図9より、5試行の平均所要時間の長短と、繰り下がり有りの試行(試行②、試行⑤)の平均所要時間の長短は、ほぼ比例関係を保って分布していることがわかる。

また、図10より、珠算経験の有無によって分布に特徴が見られ、珠算未経験者は、5試行の平均所要時間と繰り下がり有りの試行の平均所要時間がいずれも長いタイプと、いずれも中程度のタイプが確認される。一方、珠算経験者は、5試行の平均所要時間と繰り下がり有りの試行の平均所要時間がいずれも中程度のタイプと、いずれも短いタイプが確認される。従って、平均所要時間より、被験者は長、中、短の3タイプに分類され、さらに中のタイプは珠算経験の有無により2タイプ、計4タイプに分類される。

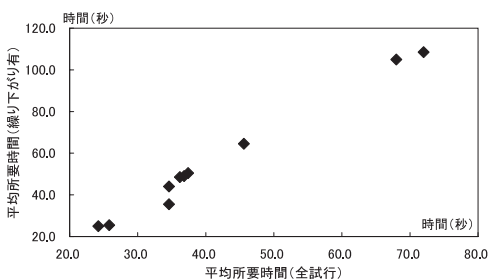


図9 被験者毎の所要時間の分布

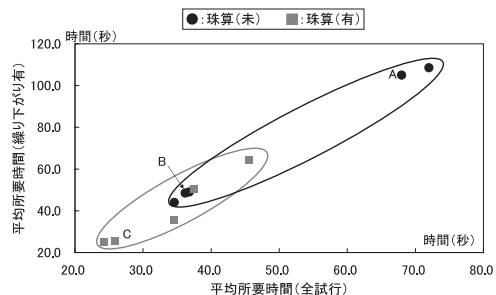


図10 珠算経験の有無毎の所要時間の分布

4.2.脳内ヘモグロビン濃度変化測定 — 3名の被験者について—

10名の被験者の内、NIRS を装着して計測した被験者は3名であった。3名の被験者の特徴は、5試行と繰り下がり有りの試行の双方の平均所要時間が長い珠算未経験者（図10のA）、双方の平均所要時間が中程度の珠算未経験者（図10のB）、そして双方の平均所要時間が短い珠算経験者（図10のC）である。以下では、これら3名の被験者の、正答率、所要時間、事後感想、及び脳内ヘモグロビン濃度変化の詳細と、を検討する。尚、NIRS では、oxyHb、deoxyHb、totalHb の計3種類のヘモグロビン濃度変化を同時計測可能であるが、3名とも oxyHb と totalHb の濃度変化は、ほぼ同一の軌跡を取るため、ここでは oxyHb と deoxyHb のみのグラフを使用することにする。

1) 被験者A（珠算未経験者）

正答率は、97.3%（73/75）である。試行毎の所要時間（秒）は表1の通りである。

表1 試行毎の所要時間（被験者A）

試行	①	②	③	④	⑤	平均
時間	46	96	41	43	114	68

脳内ヘモグロビン濃度（oxyHb、deoxyHb）の変化は、図11のようである。また、図12は deoxyHb の変化の詳細を確認するために、図11の縦軸のスケールを変更したものである。表1、図11、図12より、特徴として次の点が挙げられる。

（1-1）繰り下がり有りの計算（試行②「51」、試行⑤「62」）と、繰り下がり無しの計算（試行①「49」、試行④「59」）及び試行③「50」の所要時間を比較すると、繰り下がり有りの計算に2倍以上の時間を要している。

（1-2）oxyHb は、各試行時において増加しており、レスト時にはほぼ減少している。

（1-3）とりわけ、繰り下がり計算のある試行②「51」と試行⑤「62」において、大幅な oxyHb の増加が確認される。

（1-4）deoxyHb は、試行①「49」、試行②「51」、試行⑤「62」において増加が確認される。

（1-5）事後感想において次の記述が見られた。「繰り下がり有りの問題の方が、時間が2倍以上かかったと思う。」「繰り下がり有りの場合、まず10の位を計算したので、答えを言うまで覚えておくのが難しかった。」

2) 被験者B（珠算未経験者）

正答率は、97.3%（73/75）である。試行毎の所要時間（秒）は表2の通りである。

脳内ヘモグロビン濃度（oxyHb、deoxyHb）の変化は、図13のようである。また、図14は deoxyHb の変化の詳細を確認するために、図13の縦軸のスケールを変更したものである。表2、図13、図14より、特徴として次の点が挙げられる。

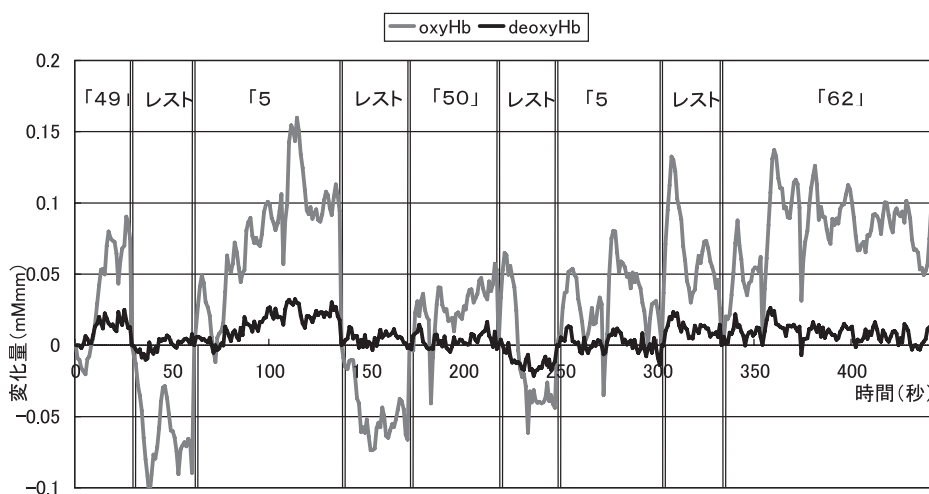


図11 ヘモグロビン濃度変化 (被験者A)

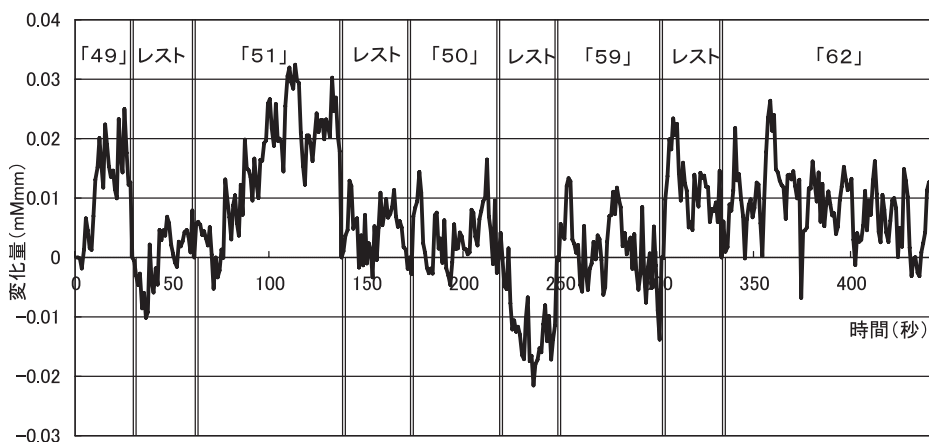


図12 deoxyHb 濃度変化 (被験者A)

表2 試行毎の所要時間 (被験者B)

試行	①	②	③	④	⑤	平均
時間	27	45	23	34	52	36

(2-1) 繰り下がり有りの計算 (試行②「51」, 試行⑤「62」) と, 繰り下がり無し of 計算 (試行①「49」, 試行④「59」) 及び試行③「50」の所要時間を比較すると, 繰り下がり有りの計算に約2倍の時間を要している。

(2-2) oxyHb は, 試行②「51」の後半, 及び4回目のレスト時に増加しており, 1～3回目のレスト時には減少している。

(2-3) 各試行において, 一試行内の前半に deoxyHb が増加し, 後半に oxyHb が増加する。

(2-4) deoxyHb は, 試行①「49」, 試行③「50」, 試行④「59」, 試行⑤「62」において, い

ずれも山型に増加している。

（2-5）事後感想において次の記述が見られた。「繰り返し下がり有りの問題の方が，時間がかかる。」，「繰り返し下がり有りの問題の方が難しい。」

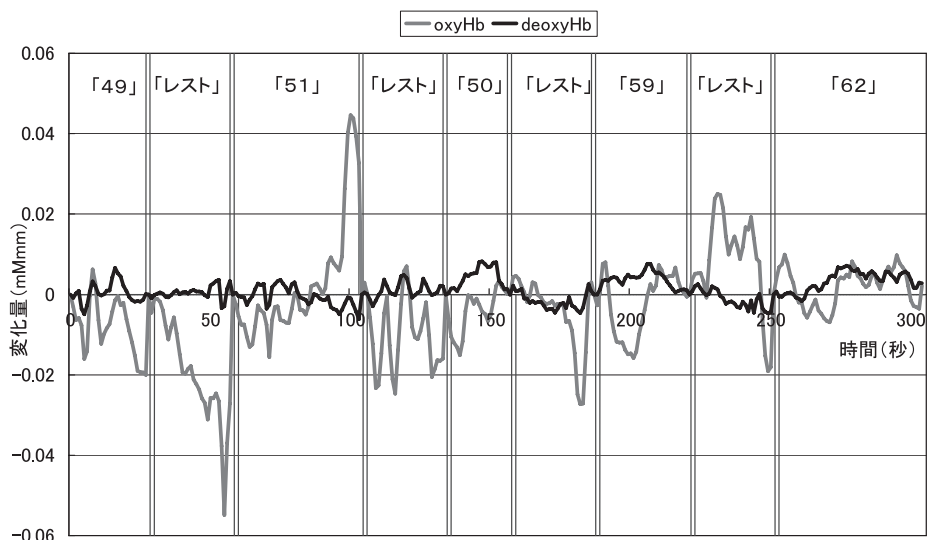


図13 ヘモグロビン濃度変化（被験者B）

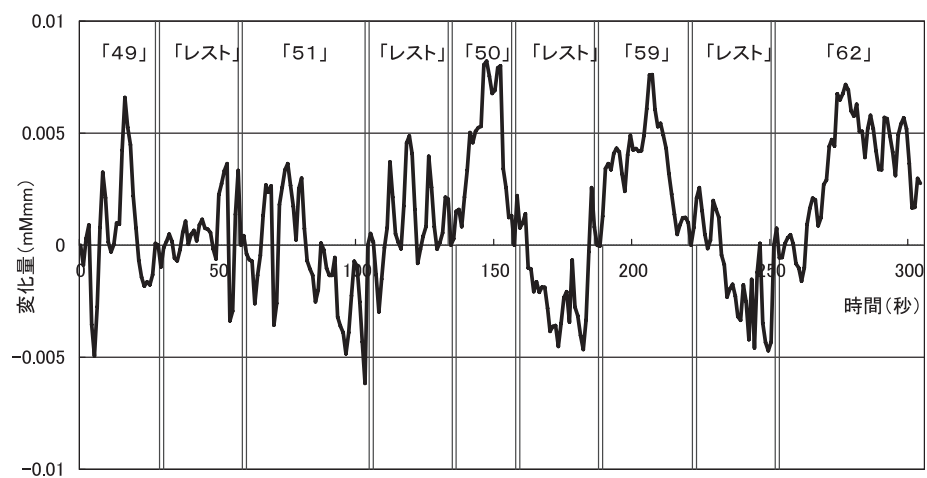


図14 deoxyHb 濃度変化（被験者B）

3）被験者C（算経験者）

珠算準初段（中学校第2学年），暗算2級（中学校第1学年）取得。正答率は，98.7%（74/75）である。試行毎の所要時間（秒）は表3の通りである。

表3 試行毎の所要時間 (被験者C)

試行	①	②	③	④	⑤	平均
時間	27	22	20	31	29	26

脳内ヘモグロビン濃度 (oxyHb, deoxyHb) の変化は、図15のようである。また、図16は deoxyHb の変化の詳細を確認するために、図15の縦軸のスケールを変更したものである。表3, 図15, 図16より、特徴として次の点が挙げられる。

(3-1) 繰り下がり有りの計算 (試行②「51」、試行⑤「62」) と、繰り下がり無しの計算 (試

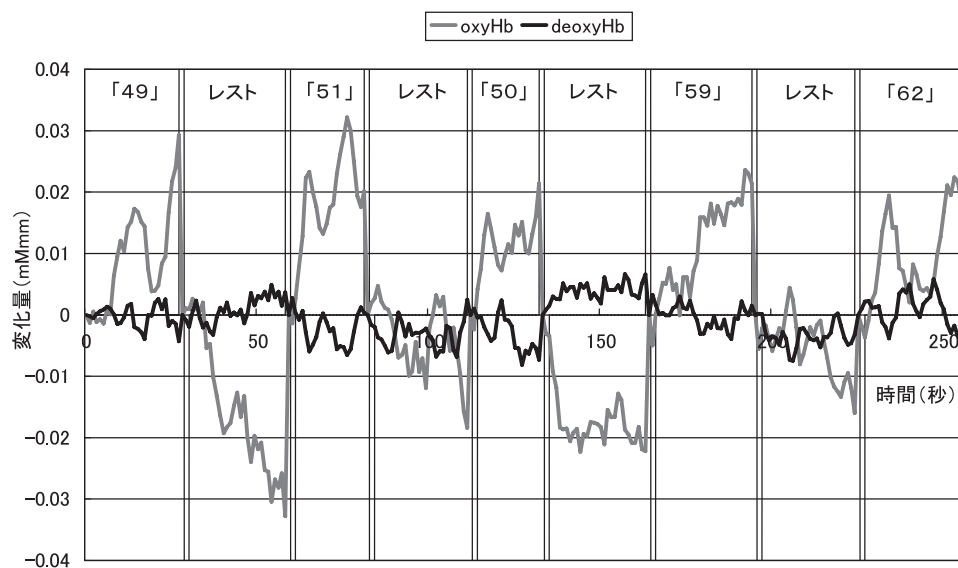


図15 ヘモグロビン濃度変化 (被験者C)

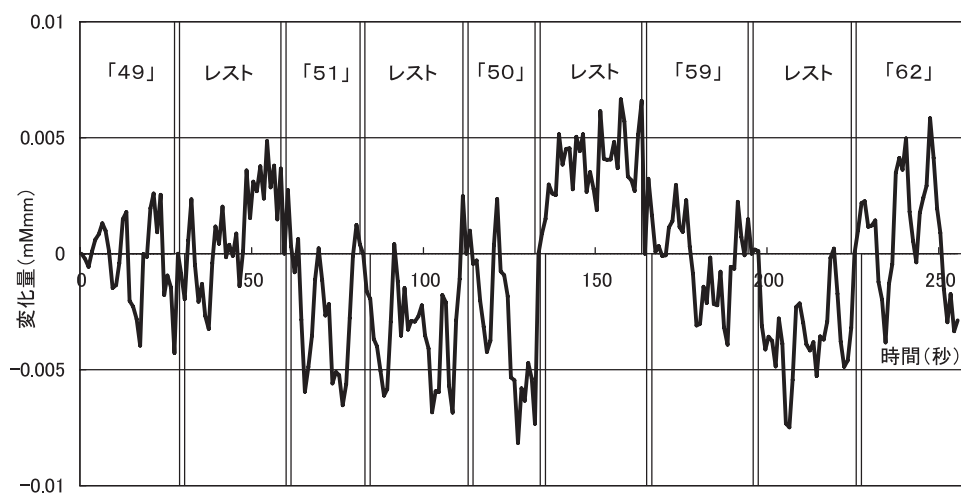


図16 deoxyHb 濃度変化 (被験者C)

行①「49」、試行④「59」及び試行③「50」の所要時間を比較すると、ほぼ同じであり、またいずれも短い。

（3-2）oxyHb は、各試行において同程度に増加しており、一方、各レスト時に減少している。

（3-3）deoxyHb は、いずれの試行においても顕著な増加は確認されない。

（3-4）一部のレスト時に、deoxyHb の増加が確認される。

（3-5）事後感想において次の記述が見られた。「繰り下がり有りの問題（試行②「51」）よりも、繰り下がり無しの問題（試行④「59」）の方が、算盤の珠をイメージしにくかったので、難しかった。」

5. 考 察

大学生10名の被験者に対して、減法を繰り返す課題を実施した結果、繰り下がりの有無によって正答率、及び所要時間に差異が生じた。とりわけ、所要時間については、繰り下がり有りの試行②、試行⑤において、他の試行の2倍近い時間を要することが明らかになった。さらに、珠算経験無しの場合、その傾向は顕著であった。

これらの結果と被験者の事後の感想より、二桁の繰り下がり有りの計算（暗算）において、多くの被験者は課題に対する負荷を強く感じていることが明らかになった。但し、珠算経験者の中には、繰り下がり無しの方が難しいと感じる被験者（被験者C）が見られた。

次に、個々の被験者の行動観察とヘモグロビン濃度変化の関係について検討して見ると、以下の点が明らかになった。

被験者Aでは、正答率は100%に近いものの、繰り下がり有りの試行②と試行⑤の所要時間が大幅に長く、また事後感想からも、これらを難易の高い課題と捉えていたと考えられる。ヘモグロビン濃度は、oxyHb がいずれの試行でも増加し、とりわけ試行①、試行②、試行⑤の増加幅が大きい結果となった。これは課題に直面するという負荷の高さが oxyHb の流入を促進した結果であると考えられる。また、deoxyHb においても試行①、試行②、試行⑤の増加幅が極端に大きく、課題内容の難易に対する負荷により、血液中の酸素が消費されたと考えられる。

被験者Bでは、正答率は100%に近く、繰り下がり有りによる所要時間の増加は10名の被験者の平均値程度であることから、繰り下がりによる負荷をある程度感じていたと考えられる。ヘモグロビン濃度は、oxyHb が試行②「51」の後半で上昇しているが、その他の試行では顕著な増加は確認されない。一方、deoxyHb においては、試行②「51」を除く他の4試行において同程度増加しており、課題内容に対する負荷により、血液中の酸素が同程度消費されたと考えられる。

被験者Cでは、正答率は100%に近く、さらに繰り下がりの有無による所要時間の変化はほ

とんど確認されず、平均所要時間も被験者中、最も短いグループであった。事後の感想においては、むしろ繰り下がり無しの課題に困難さを感じており、各試行ともスムーズに回答したと考えられる。ヘモグロビン濃度は、oxyHb がいずれの試行でも同程度に増加しており、課題に直面する負荷の高さが同程度であったと予想される。一方、deoxyHb においては、試行⑤「62」で若干増加傾向が見られるものの、顕著な増減は確認されないことより、課題内容の負荷が低い場合、血液中の酸素の消費が抑制され则认为られる。

6. 結 語

本稿では、大学生を被験者として、減法課題における繰り下がりの有無が、課題遂行時にどのような影響を及ぼすのかについて、行動観察（所要時間、正答率）及び NIRS によるヘモグロビン濃度測定をもとに検討した。その結果、明らかになったことを纏めると次の4点となる。(1) 二桁の減法計算（暗算）課題における繰り下がりの有無が、大学生の被験者の課題遂行に影響を及ぼすこと、とりわけ、所要時間の大幅な増加に反映することが明らかになった。尚、珠算経験者の中には、繰り下がりの有無が課題遂行に殆ど影響しない場合が見られた。

(2) ヘモグロビン濃度については、oxyHb が各試行時に増加する事例が2名の被験者から確認された。一方、被験者Bでは、顕著な増加が確認されなかった。deoxyHb については、難易の高い繰り下がり有りの試行時に大きく増加する傾向が2名の被験者において確認された。一方、繰り下がり有りの課題に困難さを感じない被験者Cの deoxyHb では顕著な増加が見られなかった。

(3) 上記(1)～(2)を考え併せると、oxyHb は課題に直面したことによる心的負荷によって増加が誘発され、deoxyHb は課題内容自体の難易の高さによって増加が生じるのではないかと予想される。従って、被験者Bは、課題遂行時の心的な面での負荷があまり生じず、oxyHb の変動が少なかったのではないかと考えられる。

(4) 効率的な解法の獲得とその使用が可能になることによって、deoxyHb は沈静化・安定化へと向かうようになると考えられる。従って、課題遂行時の deoxyHb の活性化から沈静化・安定化へのプロセスを詳細に検討することで、学習者の学習過程を明示化する一指標としての可能性が生じるのではないかと推測される。

被験者数の増加、他領域課題での NIRS を用いた実験結果との照合、小・中学生用の実験課題の開発と NIRS を用いた実験等が今後の課題である。

〔引用・参考文献、及び注〕

Butterworth Brian (2003) Dyscalculia: Diagnosis and Intervention. Learning Therapy, Tohoku University Press, Sendai: 24-42

- 江田英雄（2001）光計測で脳活動をみる．数理科学No.461，サイエンス社：77-83
- 今村陽子（2000a）臨床高次機能評価マニュアル2000．新興医学出版社，東京：31-36
- 今村陽子（2000b）同上掲書：8-12
- 伊藤正男（1993）脳と心を考える．紀伊國屋書店，東京
- 陰山英男（2002）本当の学力をつける本 学校でできること 家庭でできること．文藝春秋社，東京：224-225
- 川島隆太（2001）自分の脳を自分で育てる．くもん出版，東京：56
- 川島隆太（2004a）〈神経心理学コレクション〉高次機能のブレインイメージング．医学書院，東京
- 川島隆太，山崎律美（2004b）痴呆に挑む ―学習療法の基礎知識―．くもん出版，東京
- 黒田恭史（2003）脳内の血液動態を指標とした立体図形の再現課題と創作課題の差異．数学教育学会誌，Vol.44 / No.1・2：83-91
- 黒田恭史（2004）光計測装置を用いた脳活動計測の教育分野への応用．第17回日本レーザー医学会関西地方会プログラム・予稿集：26
- 黒田恭史，江田英雄，菅井勝雄，前迫孝憲（2004a）合同図形弁別過程における脳内の血液動態の分析．日本教育工学会論文誌28（2）：131-140
- 黒田恭史，江田英雄，菅井勝雄，前迫孝憲（2004b）光計測装置を用いた脳活動計測の学習評価への応用．日本教育工学会第20回大会論文集：89-92
- Okita Katsuo, et al. (2003) Clinical Aspect of Learning Therapy. Learning Therapy, Tohoku University Press, Sendai: 125-134
- Sakatani K, et al. (1999) Cerebral blood oxygenation changes induced by auditory stimulation in newborn infants measured by near infrared spectroscopy. Early Hum Dev, 55: 229-236
- 注1）経済協力開発機構教育研究革新センターホームページ
<http://www1.oecd.org/cer/>
文部科学省ホームページ
http://www.mext.go.jp/b_menu/shingi/chousa/gijyutu/003/index.htm#kaisai

〔付記〕

- 1，本研究は，平成16年度佛教大学特別研究助成，及び平成15～16年度文部科学省科学研究費補助金「基盤研究(C)(2)」(課題番号：15500600)の支援を受けている。
- 2，本実験の課題開発，及び実験を行うにあたっては，北元直樹氏（佛教大学教育学部生）の協力を得た。感謝の意を表す。

（くろだ やすふみ 教育学科）

2004年10月15日受理